

# ターゲット配列が空間学習に及ぼす影響

大津嘉代子

## 問 題

我々人間は空間を移動する生物である。朝起きて、部屋からキッチンに行きコーヒーを入れる。着替えて家を出て、駅まで歩く。我々が何気なく行っている行動のベースにあるのは、自分の位置と対象物との関係を同定し、どちらに動けば良いか判断する空間認知機能である。移動主体にとって、空間内の物の位置は相対的であり、移動に伴って空間関係は変化する。自分のいる空間の概要を理解し、行動するためには、空間を判断する枠組みが必要となる。

空間判断の枠組みは、空間参照枠（spatial reference frame, spatial frame of reference）と呼ばれ、知覚や空間認知分野で長年研究が行われてきた（e.g., Attneave & Olson, 1967; Franklin & Tversky, 1990; Marr & Nishihara, 1978; Tarr & Pinker, 1989）。移動主体が認識する空間参照枠は、自己中心参照枠（egocentric reference frame）と環境中心参照枠（allocentric reference frame）の大きく2種類に分けて考えられている（Pani & Dupree, 1994）。自己中心参照枠は、自分の身体と物との関係で構成される。例えば、この論文を書いている筆者の身体正面にはデスクがある。もし今席を立てて部屋を出れば、デスクは筆者の身体の真後ろに位置することになる。このように、移動に伴い、身体との関係で変化していく物との位置関係は自己中心参照枠で認識される。環境中心参照枠は、物と物との客観的な関係で構成される。自分がどの位置にいても変わらない物の配列や位置関係を、身体とは関係なく把握することであり、対象中心参照枠（object-centered frame）とも呼ばれる。

移動行動にとって重要な参照点（spatial reference point, 例：移動の出発地点、経路分岐点、目的地点、移動途中のランドマーク等）の空間配列学習には、自己中心参照枠、環境中心参照枠の両方が関わってくる。例えば、初めて訪れた都市など一度に周辺を見渡せない空間を移動する場合、基本的には移動中に自己中心参照枠で認識した情報から、客観的な物同士の関係を把握することになる（Sholl, 1996）。我々は先行研究で、自己中心参照枠を用いた空間学習課題を行った（Ohtsu & Ouchi, 2010）。その課題とは、室内に設置した立体迷路を用い、一度に見渡せないターゲット同士の位置関係を偶発学習するものであった。その結果、4つのターゲット位置に加え、経路分岐点が

重要な参照点になり、空間学習が促進されたと考えられる結果を得た。課題では、実験参加者は迷路内に置かれた4つのターゲットを自由探索し、全てのターゲット位置を確認した後、指示された順序でターゲットを再度訪問した。迷路の構造は、中心部に経路分岐点があり、それぞれの通路が四隅のターゲットにつながる構造になっていた（Figure 1 参照）。一つの参加者グループは、四隅のターゲットを左回り、または右回りで訪問する規則的な順序を指示され、経路分岐点では常に左折か右折を行った。対してもう一つのグループは、経路分岐点で左折、右折及び直進が入り混じる、不規則な訪問順序を指示された。事後テストでターゲット同士の位置関係の判断を行った結果、不規則な順序で再訪問を行った方が成績が良かった。この実験では、自己中心参照枠を用い、経路分岐点で現在地から見たターゲット方向をより意識的に確認し、進むべき通路を選んだ参加者の空間学習が促進されたと考えられる。

Ohtsu & Ouchi (2010) では、自己中心参照枠を用いて空間参照点と現在位置の関係を更新することがターゲット配列の学習を促進することが示されたが、さらにもう一つの側面として、参照点の配列構造の違いも学習に何らかの影響を与えたことが考えられた。つまり、分岐点での経路選択が容易な規則的順序で再訪問した参加者にとって、この迷路における主な参照点は四隅のターゲットであるのに対して、不規則な順序で再訪問した参加者にとって、中央の分岐点もターゲットと同等に重要な参照点となった可能性があった（Figure 2）。

小～中規模空間の学習においては、ターゲット配列の特徴が空間記憶の再生に影響を与えることが知られている（Mou & McNamara, 2002; Mou, Zhao, & McNamara 2007）。Mou & McNamara (2002) では、静止して任意の方向から複数のターゲットを見て位置を学習し、その後、学習した方向から見た場合に加え、他の方向から見たと想像して、それぞれのターゲットの位置関係を判断した。この実験パラダイムは多くの研究で行われており（e.g., McNamara, 1986; Rieser, 1989; Rieser, Guth, & Hill, 1986）、通常は学習した方向から見たと想定した場合の方がより正確に方向判断が行える。対して Mou & McNamara では、他の方向から見たと想像した場合の成績が良かった

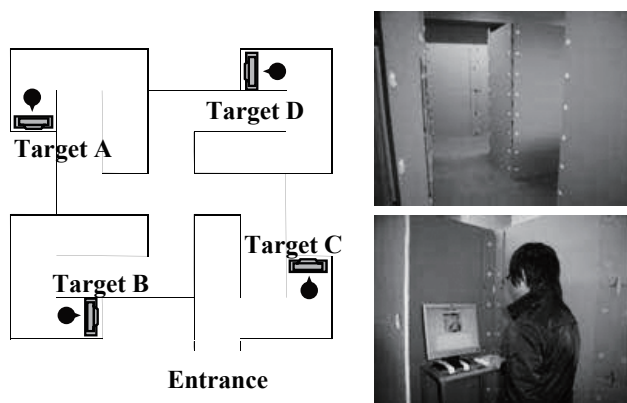


Figure 1 迷路形状と実験風景

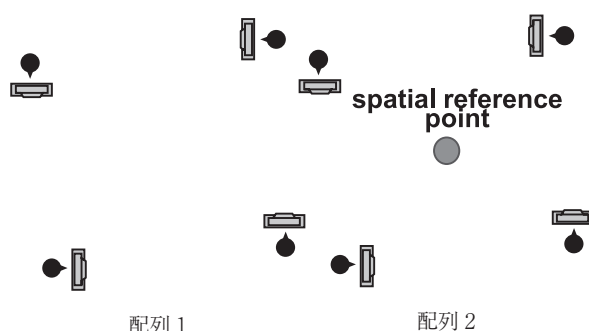


Figure 2 参照点配置

た。この要因はターゲット配列にあり、同実験では、学習方向から見た空間を正面か奥にかけての縦方向の軸を持つ座標として捉えた場合、その座標を斜めに貫くようにターゲットが配置されていた。本来自己中心参照枠で配列を覚えた場合、身体正面の縦方向の軸に沿った方向判断が最も正確に行えるが、同実験では、斜め方向の軸を持つ配列自体の特徴が参照枠（Intrinsic Frames of Reference）となり、自己中心参照枠より優先された。

Mou & McNamara（2002）で扱われたのは、自己中心参照枠とターゲット配列の参照枠との競合の問題だと考えられる。自己中心参照枠の例を出すまでもなく、人間が知覚する空間は方向に依存적である。身体正面方向が重要で、座標系の軸になる場合もあれば、対象が持つ特徴が重要になる場合もある。Ohtsu & Ouchi（2010）で示された、参照点の配列構造の違いが空間学習に与える影響は、Mou & McNamaraのような異方性の問題ではないと考えられる。Ohtsu & Ouchiでは、参加者は空間内を回遊していたため、特定の方向から静止して学習した時のような自己中心参照枠とターゲット配列構造の単純な競合は生じないはずである。地図で学習した空間と、実際にその空間を歩く時の参照枠同士の影響は整列効果と呼ばれるが、歩行により直接空間を学習した場合、整列効果は生じ難いとされている（Presson & Hazelrigg, 1984）。

一方、整列効果が生じ難い状況で、ターゲット配列が持つ学習への影響を扱った研究は非常に少ない。本研究は、Ohtsu & Ouchi（2010）で観察された学習促進効果に、純粋なターゲット配列構造の影響があるか否かを確かめるために行った。実空間では、環境自体が持つ参照枠の影響の完全な排除が困難なため、学習空間をデスクトップ PC 上の、VR（virtual reality）による環境の手掛かりがない円形のプレーンな室内程度の中規模空間とした。VR 空間に、Ohtsu & Ouchi（2010）で推察された2つのターゲット配列に合わせたターゲットを配置し、擬似的なウォークスルーによる自由探索を行い、事後テストにおけるターゲット同士の位置関係判断の正確さにより、学習時のターゲット配列の違いが空間学習に与える影響を調べた。もし、配列2の空間で学習を行った方が配列1（Figure 2 参照）より正確に位置関係の判断が行えれば、中央に加わった参照点が空間学習を促進させたと考えられる。

## 方 法

### 実験計画

実験の要因は、ターゲット配列の違いであり、水準は Square Array 条件と Central Node Array 条件の 2 つであった。

### 実験参加者

18 ～ 30 歳までの男女 48 名（男性 24 名、女性 24 名）、平均年齢 21.23 歳（SD4.0 歳）、全員正常の視覚を持つ健常者であった。そのうち、24 名（男性 12 名、女性 12 名）を 2 つの条件に無作為に振り分けた。

### 学習空間とターゲット配列

建築用 CAD ソフト Shade ドリームホーム 2.0.3 を使用し、直径 12m 相当の円形 VR 空間を制作した。使用した基本ターゲット（自転車、椅子、ステレオ、傘立）は両条件ともに共通であった。Square Array 条件では 4 つの基本ターゲットを四隅に配置し、Central Node Array 条件では基本ターゲットに加え、空間中央にノードターゲット（植木）を配置した。基本ターゲットの後ろには縁石状の物体を配し、ターゲットを正面から見る位置の手掛かりとした。基本ターゲットの位置の組み合わせで 6 パターンの空間を作成し、各条件の男女参加者 2 名に同一パターンの空間を使用した。（Figure 3, Figure 4 参照）

### 材料

ディスプレイ、反応キー、パソコン（刺激提示及び事後テストに使用）、練習課題用円形 VR 空間（直径約 5m）、練習問題用プログラム（SuperLab4.5）、事後テストプログラム 2 種類（SuperLab4.5）、スケッチマップ課題用円形用紙（直径約 15cm）、筆記用具

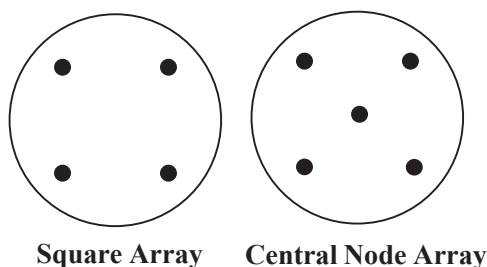


Figure 3 ターゲット配置

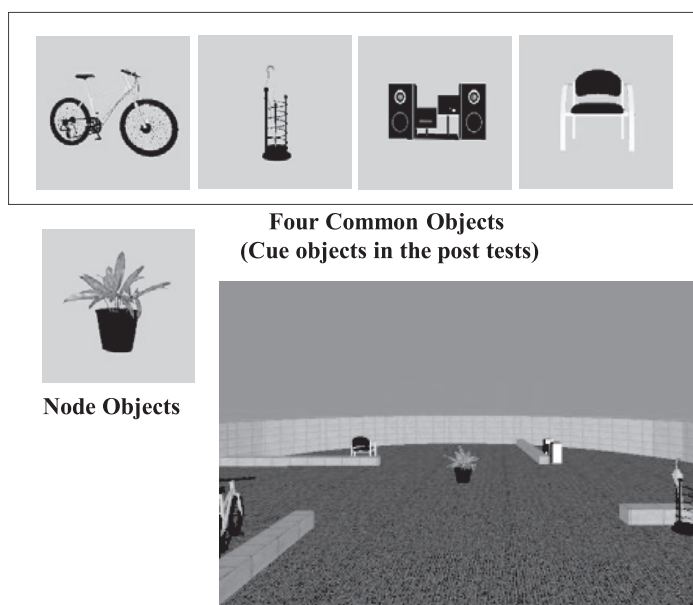


Figure 4 学習空間と使用ターゲット

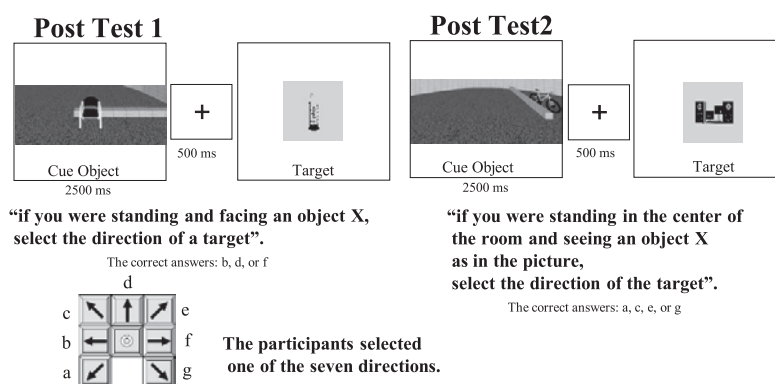


Figure 5 事後テストと回答方法

### 事後テスト 1

各基本ターゲットを正面に見ている状態から、他のターゲットの方向を7方向から選択させた (Figure 5 参照)。テストでは、基本ターゲットの前にいる状態の風景画像が 2500msec 表示され、注視点に続いて方向判断を行う他の基本ターゲットの画像が表示された。4つの基本ターゲットから見た、3つのターゲット方向の問題（計 12）はランダムに提示され、参加者は2回のトライアルを通じ、計 24 回判断した。

## 事後テスト2

空間中央に立っている状態から見た基本ターゲットの方向を、7方向から選択させた（Figure 5 参照）。テストでは、空間中央から見た風景画像が2500ms表示され、注視点に続いて方向判断を行う基本ターゲットの画像が表示された。その際、どの向きに立っているかの手掛かりとして、風景画像に基本ターゲットが1つ配置された。手掛かりとなるターゲットを風景内の2カ所の基本ターゲット位置のそれぞれに配置し、他の3つの基本ターゲットへの方向判断問題（計24）をランダムに提示した。参加者は、2回のトライアルを通じ計48回の方向判断を行った。

## 手続

実験に先立って、実験内容の説明（ターゲット名と位置、及びターゲット同士の位置関係を覚えさせた後、方向判断の課題を行う）を行った後、参加者は練習用のターゲットが2つ置かれた小規模な円形のVR空間で、実験と同様の自由探索課題（1分間）を行い、ウォークスルーの操作を練習した。その後、練習空間のターゲットを使って事後テスト1と同様の課題を行った。

実験では、参加者は Square Array と Central Node Array のいずれかの空間で自由探索課題を4分間行った。開始地点はランダムに選ばれた基本ターゲットを正面に見る位置で、参加者は開始後、まず他の基本ターゲットを同じように正面に見る位置に移動し、その後は自由に空間内を回遊し、ターゲットの位置と位置関係を学習した。自由探索課題の後、事後テスト1、事後テスト2を続けて行った。事後テスト終了後、参加者に学習空間のスケッチマップ課題（ターゲット名をそれぞれの位置に書き、縁石の位置を示す）を行った。実験時間は全体で約30分程であった。

## 結 果

事後テストの分析に先立って、参加者のスケッチマップ課題を精査し、基本ターゲット及びノードターゲットを覚えられたかどうかを確かめた。その結果、参加者48名のうち6名（各条件3名ずつ）がターゲット位置を間違えていたため、分析対象から外した。各条件3名ずつを除いた42名のデータについて、事後テスト1、事後テスト2それぞれの平均正答率（Square Array 条件：Test1 0.62, Test2 0.63, Central Node Array 条件：Test1 0.83, Test2 0.87）を角変換し t 検定を行ったところ、Test1 ( $t(40) = 2.240, p < .05$ ), Test2 ( $t(39) = 4.170, p < .001$ ) とともに Central Node Array 条件の方が Square Array 条件より有意に高かった（Figure 6）。事後テスト1については、起点となる基本ターゲットから見た正解方向（正面、左斜め前、左手）を要因に、平均正答率（Square Array 条件：正面 0.61, 左斜め前 0.63, 左手 0.60 Central Node Array 条件：正面 0.85, 左斜め前 0.81, 左手 0.82）の角変換後のデータを用い2要因分散分析（ターゲット配列は被験者間要因、正解方向は被験者内要因）を行った結果、ターゲット配列の主効果が有意であった（ $F(1,40) = 6.151, p < .05$ ）が、正解方向（ $F(1,40) = 0.386, p > .05$ ）相互作用（ $F(1,40) = 0.278, p > .05$ ）とも有意ではなかった。事後テスト1、事後テスト2それぞれの反応時間平均値（Square

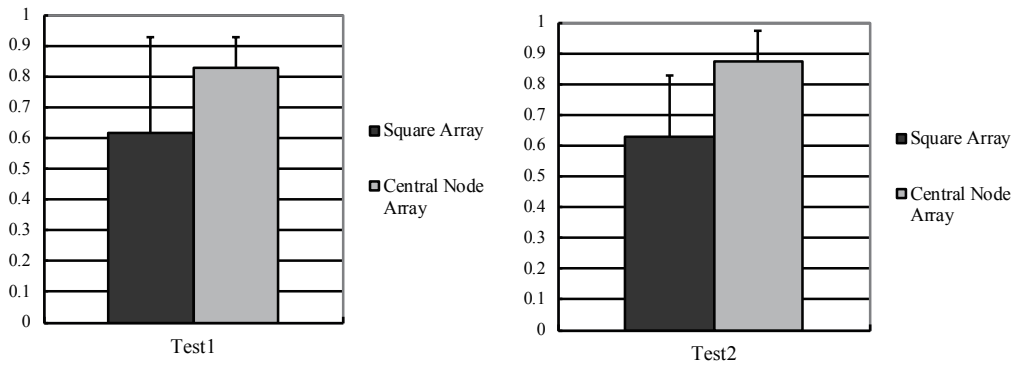


Figure 6 平均正答率

Table 1 反応時間平均 msec (SD)

	Square Array	Central Node Array
Test1	3349 (1617)	2758 (1877)
Test2	2633 (1952)	2530 (1279)

Array 条件：Test1 3349msec, Test2 2622msec, Central Node Array 条件：Test1 2758msec, Test2 2530msec) について t 検定を行ったが、両テストとも有意な差はなかった (table 1)。

## 考 察

事後テスト 1, 2 とも、平均正答率に有意差があり、VR 空間で仮想的に移動しながら学習を行った場合、ターゲット配列の違いが学習に影響を与えることが確かめられた。順番は前後するが、まず、事後テスト 2 の結果から考えたい。事後テスト 2 では、Central Node Array 条件の参加者の方が Square Array 条件より正確に方向判断を行えた。このテストは、室内中央に立っている状態を想定し、基本ターゲットの 1 つを提示することで向いている方向の手掛かりとし、他の基本ターゲットの方向を判断させる課題であった。この課題での判断の正確さの差は、方向判断の起点となる室内中央に Central Node Array だけノードターゲットが設けられ、空間参照点となっていたことからもたらされたと考えられる。練習問題で事後テスト 1 を行っていたことから、Central Node Array 条件の参加者は中央に置かれたノードターゲットの位置と、他の基本ターゲットとの位置関係も覚えようとしていたと考えられるため、この課題で判断の正確さに差が生じたことは当然とも言える。

対して、事後テスト 1 は、ターゲットの正面に立った状態から見た他の基本ターゲットの方向判断であり、判断に必要なターゲットは両条件とも共通であった。中央のノードターゲットとの位置



関係は聞いていない。参加者はテスト 1 で何を聞かれるか知っており、どちらの条件の参加者とも自由探索中に事後テストに備えて位置関係を意識的に覚えたはずである。そこで判断の正確さに差が出たことから、**Central Node Array**の方がターゲット配列として学習しやすい条件だったと考えられる。従って、中央に加わった参照点が空間学習を促進するという仮説が支持された。

次に、ノードターゲットが加わったことで、**Square Array**より**Central Node Array**の方がなぜ学習しやすかったのかを考えたい。自由探索では、擬似的な VR 空間のウォークスルーではあるものの、参加者は自己中心参照枠に準拠して空間を学習していた。その間に、参加者はターゲット配列を環境中心参照枠に置き直し、事後テストにおいては客観的なターゲット配列を思い浮かべながら課題を行っていたと考えられる。基本的に、ターゲット同士の位置関係はどちらの参照枠でも認識可能であり、環境中心参照枠を用いなくともどちらの事後テストともに回答可能である。しかし、学習中に体験した、各基本ターゲットを正面に見る位置にいた時の状況ごとに、自己中心参照枠のみで他のターゲットの方向を記録するのは非常に効率が悪い。分析に使用したデータは、スケッチマップ課題でターゲット位置を正確に再生できた参加者のみであることから、客観的なターゲット配列の表象を用いながら事後テストでの方向判断を行っていたと考える方が自然である。その際、参加者が記録・再生時に空間参照点を結ぶパスを思い浮かべていたと考えられる。二つの配列の参照点同士をつなぐパスを考えると、両空間のパスは互いに重なり合うが、**Central Node Array**は中央の参照点により対角線のパスが分節化されているのが特徴である（Figure 7）。この違いが両配列の学習しやすさの違いだった可能性が示唆される。パスが分節化することで、各参照点の関係の記述が**Square Array**より多様に行える。例えば、Figure 7 の参照点 A と B の関係を考えると、**Square Array**では、位置関係の手掛かりとして使えるのは両点を結ぶパスが一つである。対して、**Central Node Array**では、その他にも中央の参照点を経由した 2 本のパスを用いても、位置関係の手掛かりになると思われる。このような関係記述の豊富さが、環境中心参照枠で参照点配列を想起し、課題の判断に必要な自己中心参照枠での方向判断に置きなおす際の正確さにつながったのではないだろうか。どちらの事後テストも、両条件の反応時間に差がなかったことから、参加者が感じていた課題の難易度には大きな差はなかったと考えられる。それでも、実際の判断の正確さには大きな差があった。ただし、この実験からはパスの分節化がどう空間学習に関わっているのか、はっきりした結論は出せない。

一方では、パスの分節化は、学習時の参照点となったターゲット同士の見えの近さにもつながる。

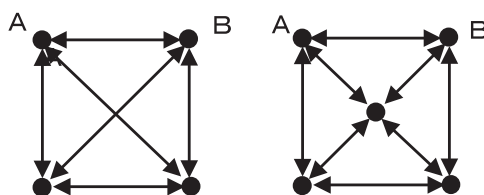


Figure 7 参照点配列によるパスの違い



つまり、ある基本ターゲットの前にいる時、左斜め方向に見えるターゲットと同じ方向の、より手前にノードターゲットが位置し近くに見えていた。このことから、単純に距離が近いノードターゲットと同時に左斜め方向のターゲットを見ることで学習が進んだとも考えられる。しかし、基本ターゲット別に、斜め、正面、左手の方向別のターゲットに対する方向判断を比較した結果、判断の正確さには差がなかった。もし、距離が近いノードターゲットが学習を促進させただけならば、斜め方向の判断が他と比べてより正確になるはずであるが、結果は、**Central Node Array** 条件の方向判断は、どの位置関係のターゲットに対しても変わらなかった。このことから、この学習促進効果は、ノードターゲットの単なる距離の近さからもたらされたとは考え難い。

Ohtsu & Ouchi (2010) では、空間中央部の経路分岐点が参照点となり、そこでターゲットと現在位置の関係を更新することがターゲット配列の学習を促進させたと推測できる。今回の結果により、その促進効果の一部分は、参照点の配列構造自体によるものだという可能性が確かめられた。つまり、参照点の配列を環境中心参照枠で思い描き、さらに自己中心参照枠に置きなおす際、参照点配列の構造の違いが空間判断に影響を与えるのである。ただし、パス分節化仮説を含め、このメカニズムについては今回の実験からは判断できない。今後の課題の一つは、今回の結果から得られたパス分節化仮説の検証である。またもう一つの課題は、実空間で経路探索を行った Ohtsu & Ouchi (2010) で観察された、位置更新を行う経路分岐点が重要な地点として参照点構造に組み込まれるのか否かの検証である。

#### [文献]

- Attneave, F., & Olson, R. K. (1967). Discriminability of stimuli varying in physical and retinal orientation. *Journal of Experimental Psychology*, 74, 149-157.
- Franklin, N., & Tversky, B. (1990). Searching imagined environments. *Journal of Experimental Psychology: General*, 119, 63-76.
- Golledge, R. G. (Ed.). (1999). Wayfinding behavior: Cognitive mapping and other spatial processes. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press.
- McNamara, T. P. (1986). Mental representations of spatial relation. *Cognitive Psychology*, 18, 87-121.
- Marr, D., & Nishihara, H. K. (1978). Representation and recognition of the spatial organization of three-dimensional shapes. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B* 200, 269-294.
- Mou, W., & McNamara, T. P. (2002). Intrinsic frames of reference in spatial memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 28, 162-170.
- Mou, W., Zhao, M., & McNamara, T. P. (2007). Layout geometry in the selection of intrinsic frame of reference from multiple viewpoints. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 33, 145-154.
- Ohtsu, K., & Ouchi, Y. (2010). The influence of route planning and its execution on spatial learning. *Proceedings of the 32nd Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 2494-2499. <http://mindmodeling.org/cogsci2010/papers/0610/paper0610.pdf>
- Pani, J. R. & Dupree, D. (1994). Spatial reference systems in the comprehension of rotational motion, *Perception*, 23, 929-946.
- Presson, C. C., & Hazelrigg, M. D. (1984). Building spatial representations through primary and secondary learning.

*Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 10, 716-722.

Rieser, J. J. (1989). Access to knowledge of spatial structure at novel points of observation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 1157-1165.

Rieser, J. J., Guth, D. A., & Hill, E. W. (1986). Sensitivity to perspective structure while walking without vision. *Perception*, 15, 173-188.

Sholl, M. J. (1996). From visual information to cognitive maps. In J. Potugali (Ed.), *The construction of cognitive maps* (pp. 157-186). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Tarr, M. J. & Pinker, S. (1989). Mental rotation and orientation dependence in shape recognition. *Cognitive Psychology*, 21, 233-283.